

## Article

## 마젤란 분지의 백악기 심해저 하도 퇴적계의 퇴적상 및 진화

최문영<sup>1\*</sup> · 손영관<sup>2</sup> · 조형래<sup>3</sup> · 김예동<sup>1</sup><sup>1</sup>한국해양연구원 부설 극지연구소  
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29호<sup>2</sup>경상대학교 지구환경학부  
(660-701) 경남 진주시 가좌동 900  
<sup>3</sup>한국해양연구원 해저환경 · 자원연구본부  
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29호**Sedimentary Facies and Evolution of the Cretaceous Deep-Sea Channel System in Magallanes Basin, Southern Chile**Moon Young Choe<sup>1\*</sup>, Young Kwan Sohn<sup>2</sup>, Hyung Rae Jo<sup>3</sup>, and Yeadong Kim<sup>1</sup><sup>1</sup>*Korea Polar Research Institute, KORDI  
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea*<sup>2</sup>*Department of Earth and Environmental Sciences  
Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea*<sup>3</sup>*Marine Geoenvironment and Resources Research Division, KORDI  
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea*

**Abstract :** The Lago Sofia Conglomerate encased in the 2 km thick hemipelagic mudstones and thin-bedded turbidites of the Cretaceous Cerro Toro Formation, southern Chile, is a deposit of a gigantic submarine channel developed along a foredeep trough. It is hundreds of meters thick, kilometers wide, and extends for more than 120 km from north to south, representing one of the largest ancient submarine channels in the world. The channel deposits consist of four major facies, including stratified conglomerates (Facies A), massive or graded conglomerates (Facies B), normally graded conglomerates with intraformational megaclasts (Facies C), and thick-bedded massive sandstones (Facies D). Conglomerates of Facies A and B show laterally inclined stratification, foreset stratification, and hollow-fill structures, reminiscent of terrestrial fluvial deposits and are suggestive of highly competent gravelly turbidity currents. Facies C conglomerates are interpreted as deposits of composite or multiphase debris flows associated with preceding hyperconcentrated flows. Facies D sandstones indicate rapidly dissipating, sand-rich turbidity currents. The Lago Sofia Conglomerate occurs as isolated channel-fill bodies in the northern part of the study area, generally less than 100 m thick, composed mainly of Facies C conglomerates and intercalated between much thicker fine-grained deposits. Paleocurrent data indicate sediment transport to the east and southeast. They are interpreted to represent tributaries of a larger submarine channel system, which joined to form a trunk channel to the south. The conglomerate in the southern part is more than 300 m thick, composed of subequal proportions of Facies A, B, and C conglomerates, and overlain by hundreds of m-thick turbidite sandstones (Facies D) with scarce intervening fine-grained deposits. It is interpreted as vertically stacked and interconnected channel bodies formed by a trunk channel confined along the axis of the foredeep trough. The channel bodies in the southern part are classified into 5 architectural elements on the basis of large-scale bed geometry and sedimentary facies: (1) stacked sheets, indicative of bedload

\*Corresponding author. E-mail : mychoe@kopri.re.kr

deposition by turbidity currents and typical of broad gravel bars in terrestrial gravelly braided rivers, (2) laterally-inclined strata, suggestive of lateral accretion with respect to paleocurrent direction and related to spiral flows in curved channel segments around bars, (3) foreset strata, interpreted as the deposits of large gravel dunes that have migrated downstream under quasi-steady turbidity currents, (4) hollow fills, which are filling thalwegs, minor channels, and local scours, and (5) mass-flow deposits of Facies C. The stacked sheets, laterally inclined strata, and hollow fills are laterally transitional to one another, reflecting juxtaposed geomorphic units of deep-sea channel systems. It is noticeable that the channel bodies in the southern part are offset stacked toward the east, indicating eastward migration of the channel thalwegs. The laterally inclined strata also dip dominantly to the east. These features suggest that the trunk channel of the Lago Sofia submarine channel system gradually migrated eastward. The eastward channel migration is interpreted to be due to tectonic forcing imposed by the subduction of an oceanic plate beneath the Andean Cordillera just to the west of the Lago Sofia submarine channel.

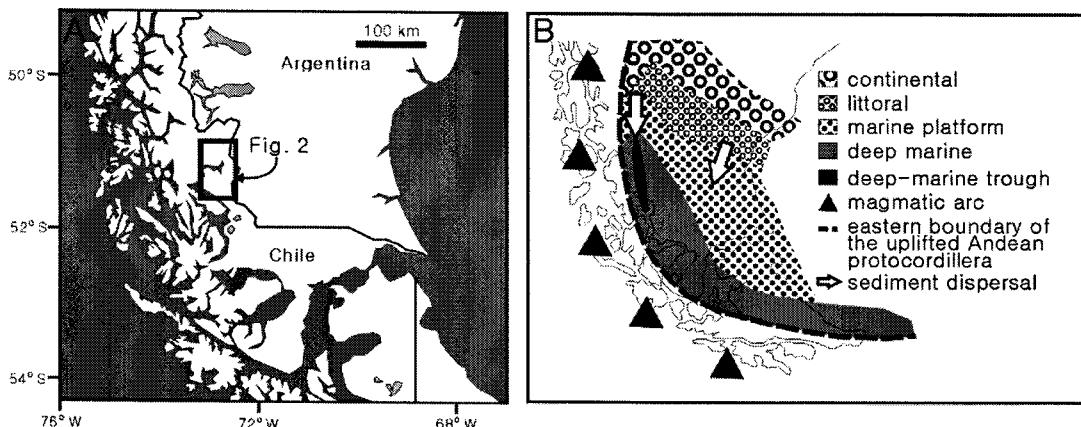
**Key words :** 퇴적상(sedimentary facies), 심해저 하도계(deep-sea channel system), 형태구성요소(architectural element), 라고 소피아 역암(Lago Sofia Conglomerate), 쇄설류(debris flow)

## 1. 서 론

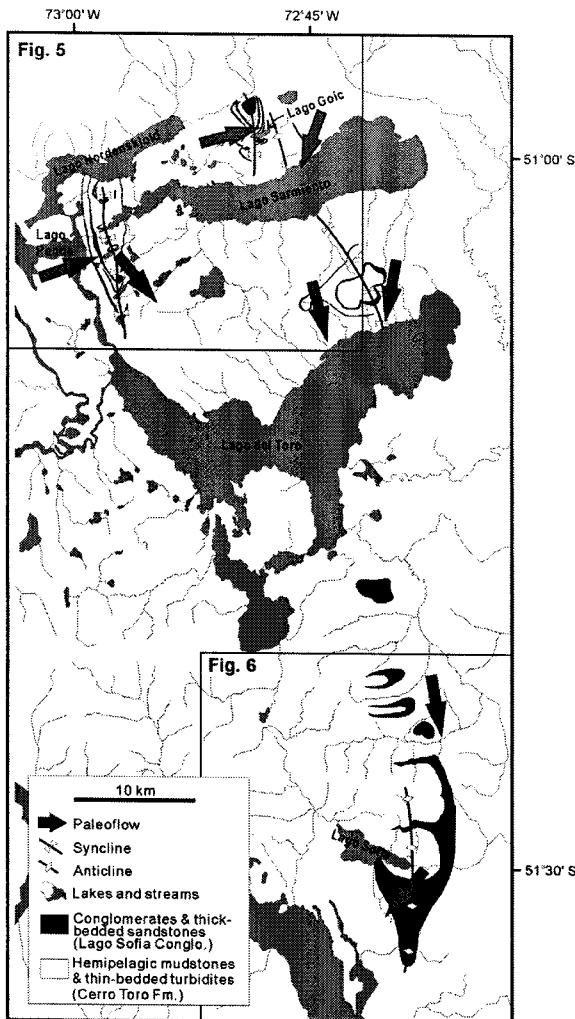
해저 하도(submarine channel)는 해저에서 퇴적물 이동의 주요한 통로이며 해저 탄화수소 자원의 주된 저류암을 구성하는 해저 선상지의 중요한 구성 요소이다(Clark and Pickering 1996a, 1996b). 최근의 해저 지질 탐사를 통해 해저 하도가 육지의 하천과는 진화과정과 퇴적작용에 있어 중요한 차이점이 있음에도 불구하고(Peakall *et al.* 2000), 육지의 하천에 비견되는 하도망을 보이며, 유사한 지형 요소들로 구성되어 있음이 밝혀지고 있다(Damuth *et al.* 1995; Hagen *et al.* 1994; Klaucke and Hesse 1996; Klaucke *et al.* 1998). 해저 하도의 규모, 평면적 형태 그리고 이러한 특성들의 공간적 변화는 육지의 하천만큼이나 다양한 것으로 알려져 있다(Clark *et al.* 1992; Clark and

Pickering 1996b; Flood and Damuth 1987). 예를 들어 Hesse(1989)는 적어도 두 종류의 해저 배수계, 즉 해저 선상지의 발산하는 배수계와 서로 합류하여 주하천을 이루는 배수계의 두 가지 형태가 있음을 제안하였다.

해저 하도의 특성과 배수계를 인지하거나 유추하는 것은 저류암의 공간적 변화를 평가하고 고기 하도계의 성격을 이해하기 위해 필요하다(Wonham *et al.* 2000). 그러나 이러한 특성들을 고기의 지층에서 측정하거나 유추하는 것은 매우 어려운 일이다. 이러한 상황을 극복하기 위해 육지나 해성 기원의 고하천 연구가들은 전통적인 퇴적상 분석 이외에도 형태구성요소분석(architectural element analysis)을 이용하게 되었다(Clark and Pickering 1996a; Miall 1989). 이러한 노력에도 불구하고 현생 하천과 고기 하천 사이에는 관찰 가능한 규모에 큰 격차가 있으며, 이



**Fig. 1.** (A) Location map of the study area, (B) Depositional setting of the Magallanes Basin during the Middle to Late Cretaceous. The Magallanes Basin was formed by flexural subsidence due to thrust loading to the east of the uplifted Andean proto-cordillera. The basin consisted of a deep, N-S-trending foredeep trough adjacent to the western margin and a gently sloping foreland ramp in its central and eastern parts. Throughout the Late Cretaceous, arc- and cordillera-derived sediment was dispersed axially along the foredeep basin, resulting in a thick (ca. 7 km) Upper Cretaceous sequence (Cerro Toro Formation) of deep-water facies.



**Fig. 2. Geologic map of the study area.** The study area largely comprises thick sequences of hemipelagic mudstones and thin-bedded turbidite sandstones (Cerro Toro Formation, Late Cretaceous). The Cerro Toro Formation includes a lens of Lago Sofia Conglomerate (LSC), which extends for more than 120 km from north to south. The LSC is interpreted as the deposit of deep-sea channels that developed along the axis of foredeep basin. Paleocurrent data indicate that sediment was generally dispersed from north to south with local sediment transport to the east in the northern part.

로 인해 고기의 하천과 현생 하천을 비교할 기본적인 자료의 축적이 매우 부족한 실정이다(Clark and Pickering 1996b; Mutti and Normark 1987). 그러므로 이러한 기본 자료의 축적이 이를 바탕으로 해저 하도의 단면적 특징을 평면적 특징과 연결시키는 것이 퇴적학자들의 중요한 관

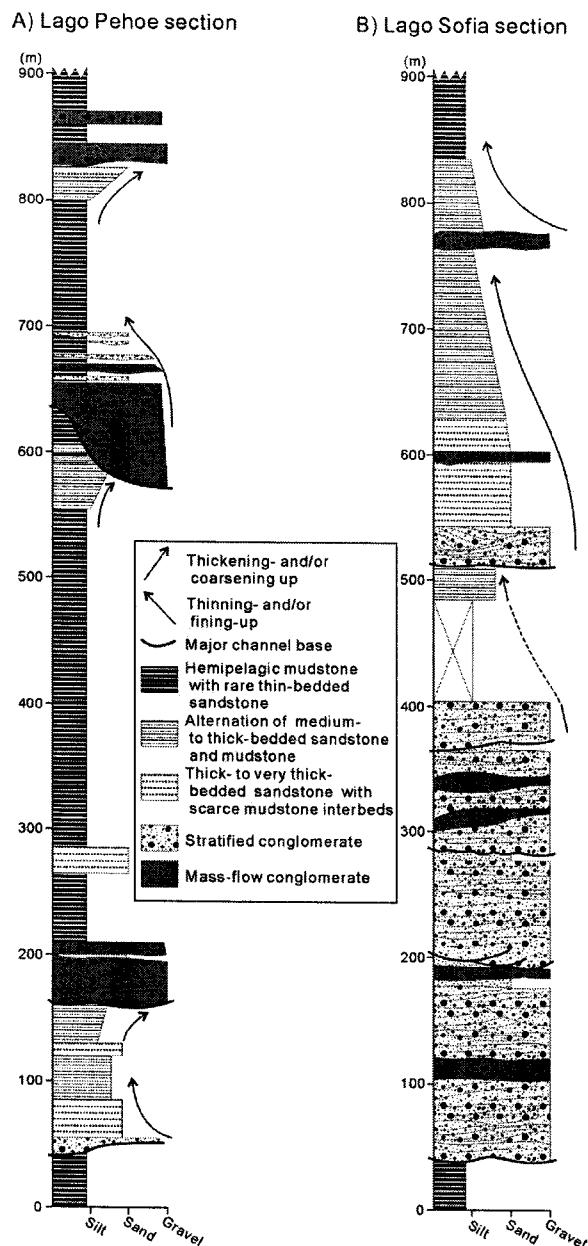
심사이며 해결해야 할 문제이다.

칠레 남부의 백악기 지층인 Cerro Toro Formation에 험재하는 라고 소피아 역암(Lago Sofia Conglomerate)은 매우 큰 규모의 해저하도 퇴적층이다(Figs. 1, 2). 이 역암층은 과거 해저 선상지에 발달한 하도 퇴적층으로 해석되었으나(Winn and Dott 1979), 최근의 연구는 해구에 발달한 해저 하도(Lewis 1994; Lewis and Barnes 1999)와 비슷한 특성을 지닌 해저 하도계에서 형성되었음을 지시한다(Jo et al. 2001). 수백 m의 두께와 수 km의 폭을 가진 이 하도 역암은 120 km 이상 연장되기 때문에 해저 하도의 미시적인 특성과 거시적인 특성을 동시에 연구할 수 있는 매우 좋은 기회를 제공해 준다. 이 연구에서는 라고 소피아 역암의 퇴적학적 연구를 통해 몇 개의 지류들과 주하도(trunk channel)로 구성된 라고 소피아 역암의 특성을 기재하고 라고 소피아 역암 하도계의 진화과정을 밝히고자 한다.

## 2. 지질개요 및 라고 소피아 역암의 광역적인 특성

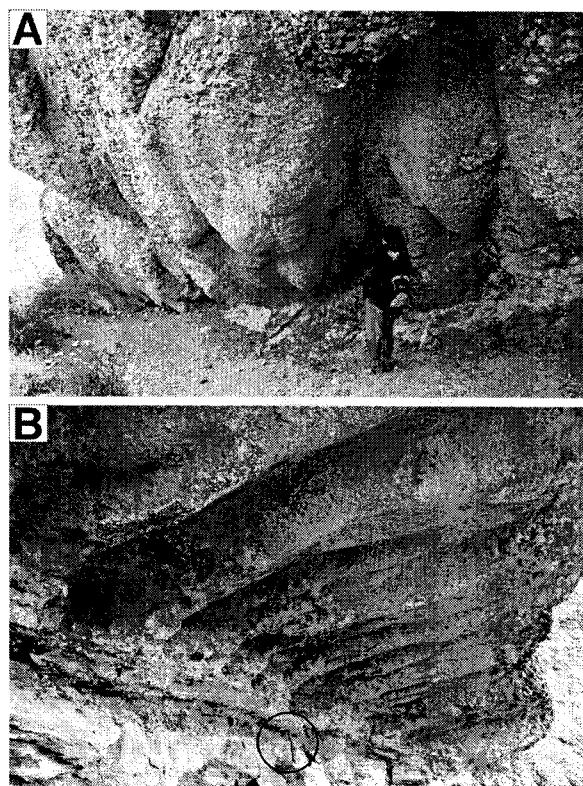
마젤란 분지는 중생대 안데스 조산운동(Andean Orogeny) 당시 안데스 원시 코디리라(Andean proto-cordillera)의 동쪽에 발달한 포랜드 분지(foreland basin)이다(Dalziel and Brown 1989; Wilson 1991). 이 분지의 서쪽 가장자리를 따라 남북방향의 포딥 분지(foredeep basin)가 발달하였으며 동쪽으로는 완만한 경사의 포랜드 램프(foreland ramp)가 발달하였다(Biddle et al. 1986; Wilson 1991) (Fig. 1B). 후기 백악기 동안, 화산호와 조산대에서 공급된 퇴적물이 포딥을 따라 운반되어 심해 퇴적층인 Cerro Toro Formation이 형성되었다(Wilson 1991; Winn and Dott 1979). 이 지층은 약 2 km 두께의 반원양성 이암과 저탁류 퇴적층으로 구성되며, 라고 소피아 역암 또는 렌즈(Lago Sofia Conglomerate or lens)로 명명된 해저하도 역암층을 포함한다(Scott 1966; Winn and Dott 1979).

이 충에 발달한 퇴적동시성 습곡의 축방향과 사암/세일의 비율이 동쪽으로 가며 감소하는 점을 들어 고사면(paleoslope)이 동쪽을 향해 경사져 있었음이 제시되었다(Scott 1966). 또한 역의 근원지는 분지 서쪽의 화산호와 cordilleran massifs로 해석되었다(Scott 1966). 그러나 라고 소피아 역암의 주된 고수류 방향은 고사면에 직각으로 북에서 남을 향하고 있다(Fig. 2). 이러한 고수류 방향과 고사면의 불일치는 해저 선상지 모델로는 설명되기 어려웠다. 최근의 연구(Jo et al. 2001)에 의해 라고 소피아 역암이 해구에 발달한 하도계와 유사하게, 북쪽의 지류와 남쪽의 주하도로 구성된 하도계에서 퇴적되었음이 제시되었다. 고수류 방향과 고사면의 불일치는 라고 소피아 역암



**Fig. 3.** Columnar logs of Lago Pehoe section in the northern part (A) and Lago Sofia section in the southern part (B). (A) The Lago Pehoe section comprises several isolated bodies of conglomerate and intervening fine-grained deposits. The conglomerate bodies are interpreted as the deposits of tributary channels, (B) The Lago Sofia section is characterized by a thick conglomerate body, which represents an axial trunk channel.

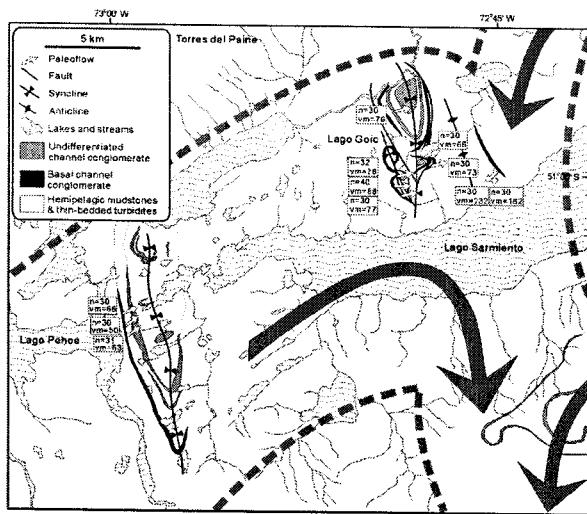
하도계가 발달한 포립 분지의 축이 남쪽으로 기울어 있었기 때문인 것으로 해석될 수 있다.



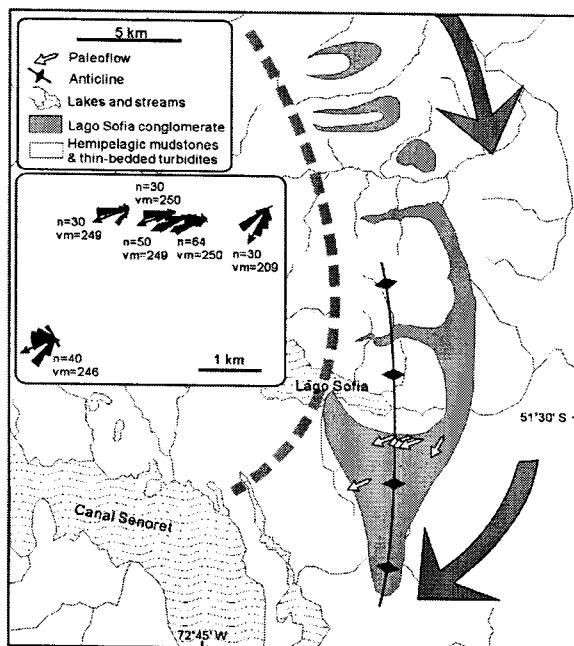
**Fig. 4.** (A) Gigantic flute casts at base of a Facies C conglomerate at the Lago Goic section, (B) Gigantic groove cast at base of a Facies A conglomerate at the Lago Sofia section. Hammer for scale.

라고 소피아 역암은 연구 지역의 북쪽에서는 대략 100 m 이내의 두께를 가지며, 반원양성 세립 퇴적층 사이에 협재되어 고립된 하도역암체로 구성되어 있는 반면, 남쪽에서는 400 m 이상의 두께를 가진, 수직적-수평적으로 연결된 하도역암체로 나타난다(Fig. 3). 이 역암체들 중 최 하부의 역암체(기저 라고 소피아 역암으로 명명)는 두께가 약 40 m이며 하부에 거대한 종렬홈과 종축도랑이 발달되어 있는 특징이 있다(Fig. 4A). 이런 거대한 저흔들은 기저 라고 소피아 역암의 거의 모든 노두에서 관찰된다. 이 저흔들과 역의 비늘배열에서 유추되는 기저 라고 소피아 역암의 고수류 방향은 대체로 동쪽을 가리키고 있어, 하도가 포립 분지 고사면의 경사방향에 평행하게 발달하였음을 지시한다(Fig. 5). 기저 라고 소피아 역암 동단의 노두에서는 고수류 방향이 가파르게 남쪽으로 변화하는 모습을 보여주고 있는데, 이는 기저 라고 소피아 역암의 하도가 더 이상 동쪽으로 확장되지 않았으며 남북방향의 포립 분지에 제한되어 남쪽으로 하도의 방향이 휘어졌음을 지시한다.

Lago del Toro의 남쪽에서는 라고 소피아 역암이 남북



**Fig. 5.** Distribution of Lago Sofia Conglomerate at the Lago Pehoe and Lago Goic sections in the northern part of the study area. Paleocurrent directions, inferred from the measurement of clast fabric, are indicated with possible outlines of the channel system (dashed line). (n = number of counts, vm = vector mean).



**Fig. 6.** Distribution of the Lago Sofia Conglomerate at the Lago Sofia section in the southern part of the study area. Paleocurrent directions, inferred from the measurement of clast fabric, are indicated with possible outlines of the channel system (dashed line). (n = number of counts, vm = vector mean).

방향으로 산의 중턱을 따라 나타난다(Fig. 2). 이 지역의 소피아 역암은 400 m 두께의 역암과 약 300 m 두께의 사암으로 구성된다(Fig. 3B). 역암은 연장성이 좋은 침식면에 의해 경계지워진 몇 개의 역암체로 나뉘어지며, 최하부 역암의 기저부에는 거대한 종축도량이 관찰된다(Fig. 4B). 이러한 특징은 연구지역 북부의 기저라고 소피아 역암의 기저부 특징과 잘 대비된다. 이 지역의 역암은 서쪽으로 측멸하며 하도계의 서쪽 경계가 잘 보존되어 있다(Fig. 6). 기존 연구(Scott 1966; Winn and Dott 1979)는 이 지역이라고 소피아 역암의 고수류 방향이 남쪽임을 주장하고 있으나, 금번의 연구 결과는 고수류 방향이 남서쪽을 향하고 있는 것으로 보여주며, 이는 라고 소피아 역암 하도가 남부 지역에서 남서쪽으로 급하게 휘었기 때문인 것으로 해석된다(Fig. 6).

### 3. 퇴적상(Sedimentary Facies)

#### 퇴적상 A(Facies A) : 층상 역암(Stratified conglomerate) 기재

층상 역암은 주로 잔자갈과 왕자갈로 구성되며, 역들은 대체로 원마도가 양호하고 역지지 되어 있으며 장축이 비늘배열[a(p)a(i)]을 잘 보여준다(Fig. 7A). 기질은 세립에서 중립사로 구성된다. 이 역암은 판상층리, 저각도 사층리, 고각도 사층리 등의 구조를 보인다. 개개 역암층의 두께는 수십 cm 정도이며, 대체로 괴상 구조가 우세하나, 간혹 역점이 또는 정점이층리가 발달되어 있다. 경사층리 역암에서, 층리의 경사는 종종 역의 비늘배열에 수직으로 발달되어 있다. 고각도 사층리 역암은 간혹 수 m 두께의 사층리 짹으로 이루어진 사구의 모양을 보여준다.

#### 해석

잘 발달한 층리와 비늘배열은 자갈들이 저탁류의 밀집으로 운반되어 견인퇴적(tractional deposition)되었음을 시시한다(Lowe 1982; Nemec 1990; Winn and Dott 1977). 사암층이 거의 협재되지 않은 점은 저탁류 구성이 주로 자갈로 이루어졌음을 시시한다(Lowe 1982). 또는 대부분의 부유 모래는 퇴적지점에 통과하였거나, 퇴적된 경우라도 추후의 저탁류에 의해 침식되었음을 시시한다. 서로 다른 크기와 배열을 갖는 자갈들로 이루어진 층들은 여러 저탁류에 의해 만들어진 융합층으로 해석된다. 저각도 및 고각도 사층리는 지속류의 성격을 지닌 저탁류 하부에 발달한 역질사주 또는 낮은 기복의 충면구조에 의해 형성된 것으로 해석된다(Hein and Walker 1982; Hughes Clarke et al. 1990; Wynn et al. 2000; Wynn et al. 2002). 이러한 구조들은 현생 심해저 하도에서 관찰되는 지형 요소와 유사한 것으로 해석된다(Belderson et al. 1984; Ercilla et

al. 1998; Klaucke and Hesse 1996). 층상 역암들은 하도의 축에 대체로 평행한 방향의 고수류 방향을 보인다 (Fig. 5).

#### 퇴적상 B(Facies B) : 괴상 및 점이층리 역암(Massive or graded conglomerate)

##### 기재

이 퇴적상의 역암은 층리가 없고 역의 비늘배열이 불량하다는 점을 제외하면 퇴적상 A의 역암과 유사하다 (Fig. 7B). 이 역암은 수 m 깊이의 침식곡을 채우거나 간혹 불록한 렌즈상의 형태로 나타나기도 한다. 층의 두께는 수 m 이상이며, 상부로 가며 층상 역암(퇴적상 A)으로 변하기도 한다. 이들의 상하부 경계는 대체로 뚜렷하다.

##### 해석

이 퇴적상은 층상 역암을 구성하고 있는 퇴적단위들이 중첩되어 두껍게 나타나고 있는 것으로 볼 수 있다. 퇴적작용 역시 기본적으로는 퇴적상 A의 것과 동일한 것으로 보인다. 그러나 두꺼운 층 두께와 불량한 비늘배열은 보다 빠른 퇴적으로 자갈의 견인 운반 정도가 미약했음

을 지시한다.

#### 퇴적상 C(Facies C) : 이질 기질과 충내력을 지닌 점이층리 역암(Graded conglomerate with muddy matrix and intraformational megaclast)

##### 기재

이 역암은 수 m에서 10 m 이상의 두께로 나타나며, 층리가 없고, 층 경계가 뚜렷하며, 니질의 기질을 갖고 있고, 대규모의 노두에서는 측방향으로 소멸하는 특징을 보여주어 다른 퇴적상의 역암과는 쉽게 구별된다. 이들은 대체로 정점이층리를 보여주며 역지지된 잔자갈과 왕자갈로 이루어진 하부와 역이 느슨하게 지지되어 있거나 기질지지된 잔자갈로 구성된 상부로 구성되어 있다 (Figs. 7C, 8). 하부의 역암은 자갈이 종종 상류를 향해 경사진 비늘배열을 보여주며 기저부에는 역점이 층리를 잘 보여준다. 층의 하부 경계는 대체로 침식적이며 대규모의 종렬홈이나 종축도랑을 보여준다. 층의 상부는 역들이 비조직상의 배열을 보이며 잔자갈에서 수 m 크기의 충내력을 다량 포함한다. 일부 층의 상부에는 이암면을 다량 함유한 층이 나타난다. 기질은 분급이 불량한 이질사로 구성된다.

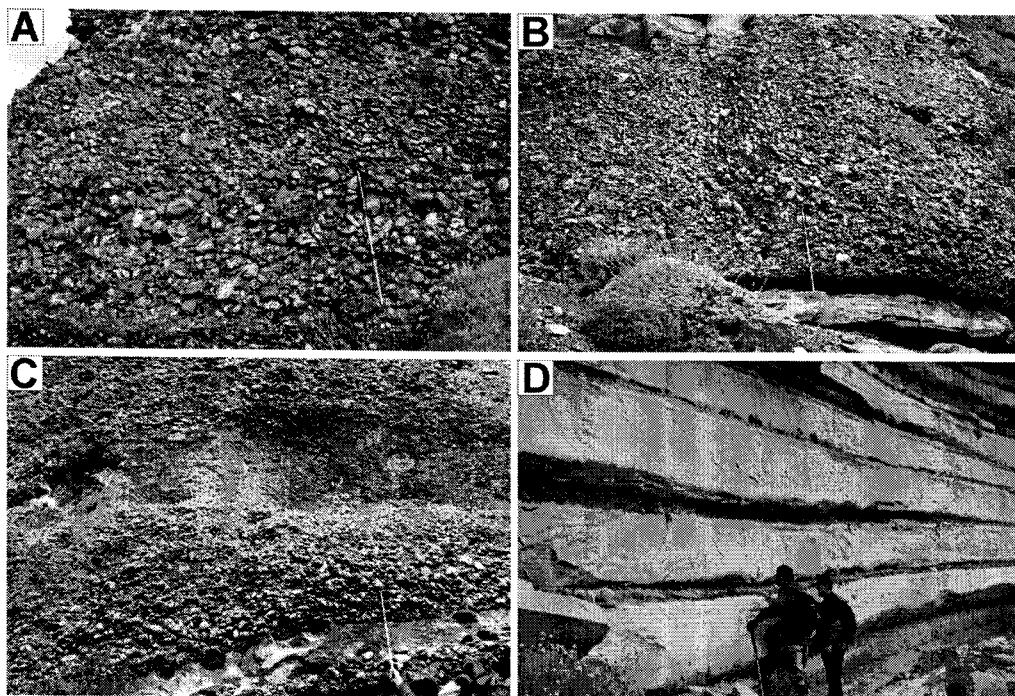


Fig. 7. (A) Stratified conglomerate (Facies A) in the Lago Goic section. Stratification is marked by the alternation of cobble-grade and pebble-grade conglomerate strata. Note the clast imbrication. A stick for scale is 95 cm long, (B) Massive conglomerate (Facies B) in the Lago Sofia section. The conglomerate bed shows crude stratification, (C) A graded conglomerate bed (Facies C) in the Lago Sofia section, comprising clast-supported lower part and matrix-supported upper part. Note the basal inverse grading and mudstone intraclasts in the upper part, (D) Thick-bedded, massive sandstones (Facies D) at Lago Sofia section.

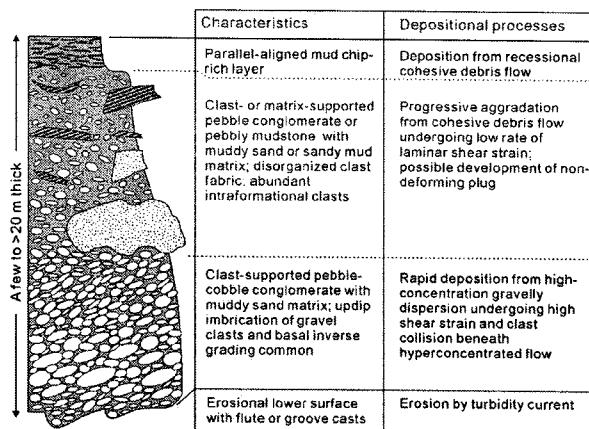


Fig. 8. A synthetic depositional sequence of Facies C conglomerate with brief descriptions and interpretations (after Sohn *et al.* 2002).

#### 해석

이 퇴적상의 역암은 저탁류, 역질 고농도수류, 그리고 이질 쇄설류가 한번의 퇴적 사건을 통해 순차적으로 쌓인 것으로 해석된다(Sohn *et al.* 2002). 잘 발달한 종렬홈과 종축도랑을 가진 하부의 침식 경계는 난류성 흐름(저탁류)에 의해 침식이 일어났음을 지시하며, 곧바로 역질 고농도수류에 의해 자갈들이 활발히 충돌하며 퇴적이 일어나 기저부의 역점이총리와 비늘배열을 만든 것으로 해석된다. 상부의 비조직상 역암은 비변형 플러그(rigid plug)를 지닌 층류성의 점착성 쇄설류에 의해 퇴적된 것으로 보인다(Johnson 1984; Shultz 1984). 정점이총리의 발달은 점진적인 퇴적(incremental aggradation)에 의해 쇄설류 내의 수평적 입도 분포(조립질 머리와 세립질 꼬리)가 수직적으로 보존되었기 때문으로 해석된다(Major 1997; Sohn *et al.* 1999; Vallance and Scott 1997). Sohn *et al.*(2002)은 수막현상에 기인한 쇄설류의 회석과 수류 변화에 의해 이러한 다중상의 중력류(multiphase gravity flows)가 만들어진 것으로 해석하였다.

이 역암에서 역의 배열을 측정한 결과 쇄설류층들이 매우 불규칙한 고유향을 갖고 있으며, 하도의 방향에 큰 각도로 어긋나 있음이 밝혀졌다(Figs. 5, 6). 이는 쇄설류들이 하도 제방이나 주변의 사면 붕괴에 의해 유래했으며, 지역적인 지형의 영향을 받았기 때문으로 해석된다.

#### 퇴적상 D(Facies D) : 두꺼운 괴상 사암(Thick-bedded massive sandstone)

#### 기재

괴상 사암은 두께가 수십 m에서 백 여 m에 이르며, 주로 역암의 상부, 하부, 또는 측방에 나타난다(Fig. 7D). 각각의 사암층들은 수십 cm에서 1 m 이상의 두께를 가지며

세립에서 증립사로 구성되며, 대부분 괴상이고 점이총리는 나타나지 않는다. 일부 층의 상부에서는 판상총리 또는 연흔사총리가 수 cm에서 10여 cm 두께로 나타난다. 대부분의 사암층들은 층의 두께 변화 없이 측방향으로 연장이 잘 되며, 드물게 얇은 침식면이 층의 하부에 관찰되기도 한다. 사암층이 두껍게 누적되어 있을 때 상향 세립화 또는 조립화하는 경향이 간혹 관찰된다.

#### 해석

이 퇴적상의 사암은 사질 퇴적물이 저탁류로부터 급격히 부유퇴적되어 형성된 것으로 해석된다(Lowe 1982). 사암층 하부에 침식이 두드러지지 않은 점은 저탁류가 대량의 부유퇴적물을 운반하고 있었으며, 퇴적단계(depositional regime)에 있었음을 지시한다. 사암층이 측방향으로 잘 연장되는 것은 사질 쇄설류(sandy debris flow)보다는 폭넓게 퍼져 흐르는 저탁류 기원을 지시한다. 사암층에서 간혹 상향 세립화 또는 조립화하는 경향이 나타나는 것은 라고 소피아 저탁류 퇴적계의 전진 또는 후퇴와 관련이 있는 것으로 해석된다.

## 4. 하도의 특성

#### Lago Pehoe & Lago Goic sections

Lago Pehoe 지역에서는 세 개의 역암체가 관찰된다. 기저 라고 소피아 역암으로 명명된 하부의 역암체는 약 40 m의 두께를 가지며 측방향으로 최소한 10 km 이상 연장되며, 북쪽으로 가며 측멸한다(Fig. 5). 이 역암체는 주로 퇴적상 C의 점이총리 역암과 얇게 협재한 층상 역암(퇴적상 A)으로 이루어져 있다. 이 역암체의 하부에는 폭이 수십 cm, 길이가 수 m를 넘는 거대한 종축도랑이 발달해 있다.

기저 라고 소피아 역암 상부의 제2 역암체 역시 퇴적상 C의 점이총리 역암과 약간의 층상 역암(퇴적상 A)으로 구성된다. 이 역암체는 두께가 100 m에 달하며 북쪽과 남쪽으로 측멸하는 특징을 보인다(Fig. 9). 이 역암체의 모양과 높인 방향, 그리고 고수류 측정 결과, 이 역암체는 폭이 대략 10 km이며, 남서 방향의 축을 갖는 하도의 일부인 것으로 해석된다. 최상부의 제3 역암체는 두께가 10 m를 넘는 퇴적상 A의 층상 역암으로 이루어져 있다.

Lago Goic 지역에는 여러 개의 역암체가 나타난다(Fig. 5). 이들은 대개 수십 m의 두께를 가지며 퇴적상 A와 퇴적상 C의 역암이 엇비슷한 비율로 나타난다. 이 지역의 역암체들은 Lago Pehoe 지역의 역암체와 직접적인 대비가 불가능하지만, 최하부의 역암은 Lago Pehoe 지역의 기저 라고 소피아 역암과 대비되는 것으로 추정된다. 이러한 해석은 두 지역의 역암체 모두 충서적으로 최하부에 나타

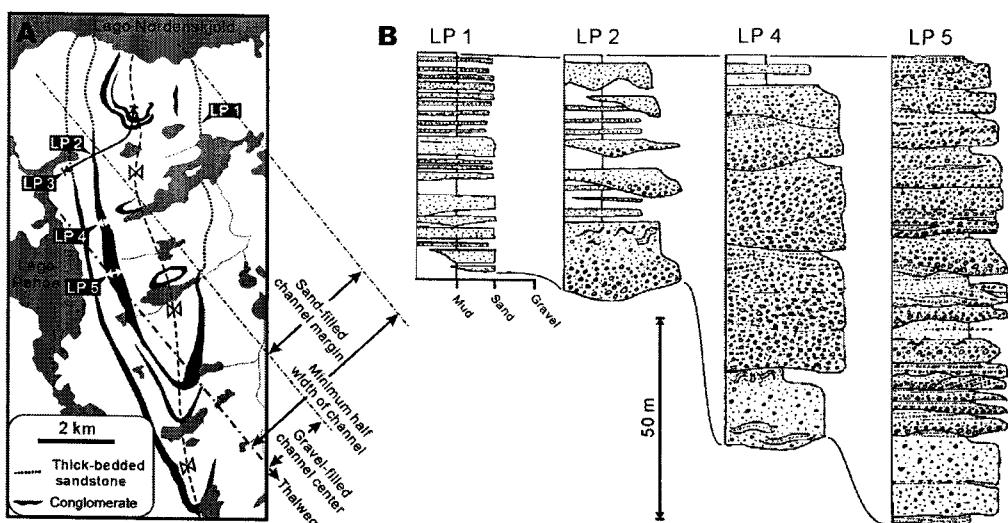


Fig. 9. (A) Detailed geological map of the Lago Pehoe section (from Scott 1966), showing inferred channel orientation of the thickest conglomerate unit, (B) Correlated columns from the conglomerate.

난다는 점과 기저부에 거대한 종렬홈 또는 종축도랑이 나타난다는 점에 기초하고 있다(Fig. 4A). Lago Goic 지역의 층상 역암에서 측정된 고유향은 대체로 동쪽을 향한다(Fig. 5). 그러나 최동단의 역암 노두에서는 고유향이 급격히 남쪽으로 휘어져 있어 라고 소피아 역암이 동쪽으로는 더 이상 산출하지 않는 것으로 판단된다.

#### 라고 소피아 섹션(Lago Sofia section)

Lago Sofia 지역의 역암은 대체로 남쪽 또는 남서쪽의 고수류 방향을 보이며(Fig. 2), 약 400 m 두께의 역암과 약 300 m 두께의 사암으로 이루어진다(Fig. 3B). 역암은 주로 퇴적상 A의 층상 역암과 약간의 퇴적상 B 또는 퇴적상 C의 역암으로 구성된다. 수백 m 두께의 역암은 측방향으로 연장이 잘 되는 침식면에 의해 몇 개의 단위로 나뉘어 지며, 이는 이 곳의 역암이 몇 개의 하도 역암체로 이루어져 있음을 지시한다. 이 역암은 서쪽으로 가며 측멸하는데, 이는 하도계의 서쪽 경계를 나타내는 것으로 해석된다(Fig. 6). 역암 위에 나타나는 사암층은 1 m 이상의 두께를 갖는 퇴적상 D의 사암으로 구성되어 있으며, 위로 가며 층의 두께가 얇아지는 경향을 보인다.

#### 해석

Lago Pehoe 및 Lago Goic 지역의 역암은 훨씬 두꺼운 세립 퇴적상 속에 역암체가 고립되어 나타난다는 점에서 여러 역암체가 서로 중첩되어 나타나는 Lago Sofia 지역의 역암과 구별된다. Lago Pehoe 및 Lago Goic section의 고립된 하도 역암체들은 퇴적 속도가 빠르고 하도 유기가 빈번히 일어나는 퇴적물 공급지에 가까운 지역에서 형성

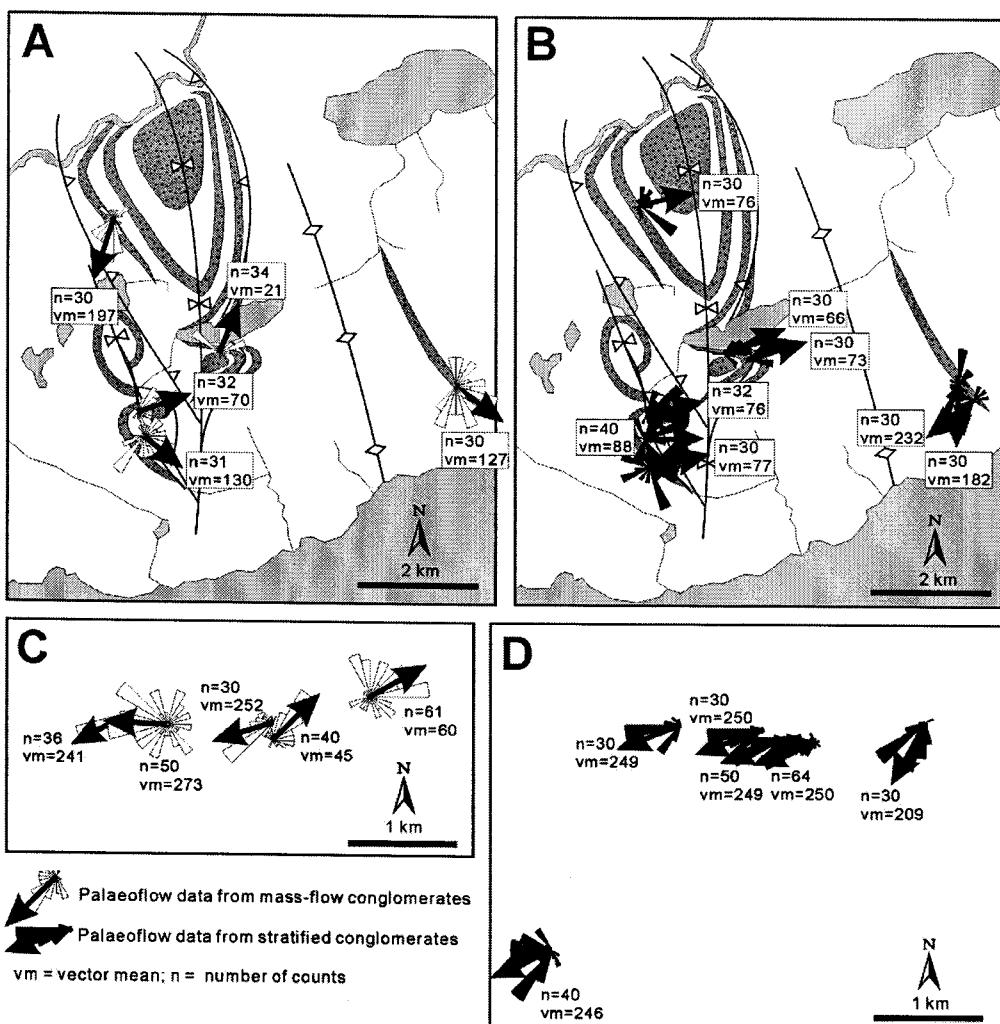
된 것으로 해석된다. 반면, Lago Sofia 지역의 하도 역암체는 하도 유기 없이 하도 역암체가 누적되어 형성된 것으로 보인다. 이 지역의 하도는 포립 분지의 축을 따라 발달하여 하도가 측방향으로 이동하기 어려운 조건 하에서 형성된 것으로 보인다.

연구지역 북부와 남부 역암체를 구성하고 있는 퇴적상들의 상대적인 비율을 비교해보면, 북부의 Lago Pehoe 및 Lago Goic 지역의 하도에는 퇴적상 C의 역암이 상대적으로 우세하게 나타나고, 남부의 Lago Sofia 지역의 하도 역암에는 퇴적상 A 역암이 퇴적상 C보다 우세하게 나타난다. 이러한 퇴적상의 차이는 해저하도의 하류로 감에 따라 저탁류 작용이 더욱 우세하게 나타났기 때문인 것으로 해석된다. 쇄설류 기원의 역암에서 나타나는 비늘배열은 그 패턴이 매우 불규칙하다(Fig. 10A, C). 이는 쇄설류가 하도 주변의 사면 붕괴에 의해 일어났으며, 쇄설류가 흐른 방향은 국부적 지형의 영향을 많이 받았음을 보여준다. 반면 층상 역암에서 일어진 고수류 방향은 하도의 배열 방향에 대체로 평행하다(Fig. 10B, D). 이러한 역암의 비늘배열 측정 결과는 이러한 퇴적상의 차이가 상류 지역에서 쇄설류가 더욱 빈번히 발생했기 때문이며, 상류의 쇄설류가 하류의 저탁류로 유연환을 일으켜서 일어난 현상이 아님을 보여준다.

#### 5. 라고 소피아 역암의 아키텍쳐

##### 형태 구성 요소(Architectural elements)

큰 규모의 층리구조와 구성 퇴적상을 기준으로 라고소피아 역암을 5개의 구성요소로 구분하였다(Fig. 11): (1)



**Fig. 10.** Contrasting palaeoflow patterns between multiphase debris-flow conglomerates (A, C) and stratified conglomerates (B, D) obtained from the Lago Goic section (A, B) and the Lago Sofia section (C, D). The debris-flow conglomerates have highly variable palaeoflow patterns, compared with the relatively uniform palaeoflow pattern of the stratified conglomerates.

판상층리 퇴적체(stacked sheets), (2) 횡경사층리 퇴적체(laterally-inclined strata), (3) 전면층 퇴적체(foreset strata), (4) 곡충진 퇴적체(hollow fills), (5) 기질지지 역암층(diamictite). 판상층리 퇴적체는 판상의 역암층이 누적되어 있는 퇴적체이다(Fig. 12A). 이 퇴적체는 3~5 m의 두께를 가지고, 수 백 m의 횡적 연장성을 보인다. 개별 역암층은 수십 cm의 두께를 가지고 수 m에서 수십 m 정도 연장되며, 퇴적상 A와 B로 구성된다. 개별층은 침식 경계면과 입도 차이에 의해 구분된다. 퇴적체 내부의 층리는 전체적인 층리와 평행하며, 역암층 사이에 얇은 사암층이 협재하기도 한다. 이 퇴적체를 구성하는 퇴적상 A와 B는 저탁류의 밀집운반에 의한 퇴적을 지시한다. 이러한 밀집

퇴적층의 판상 발달과 수직적 중첩 양상은 육상 하천환경에 발달하는 넓고 편평한 자갈톱(gravel bar)의 퇴적 구조를 연상시킨다(Boothroyd and Ashley 1975; Hein and Walker 1977). 자갈톱은 역질 망상하천(braided river)에서 흔히 형성되고, 큰 세기의 홍수류에 의해 주로 퇴적된다. 홍수류는 많은 양의 퇴적물을 한꺼번에 운반하므로 저탁류와 유사하다(Maizels 1987; Todd 1989). 저탁류에 의해 형성되는 자갈톱에 대해서는 거의 알려진 것이 없지만, 라고 소피아 역암에서 관찰되는 판상층리의 퇴적체는 심해저 하도에서 저탁류에 의해 형성되는 판상 자갈톱의 예로 해석된다.

횡경사층리 퇴적체는 저각도로 기울어진 퇴적상 A와 B

Elements	Geometry	Description	Interpretation
Stacked sheets (Element S)	Sheet-like 3-50 m thick Hundreds of meters in lateral extent	Stacked sheet-like beds of clast-supported, pebble-cobble conglomerate Well-rounded, commonly imbricated clasts Medium-grained sandstone matrix Parallel to subparallel bed geometry Individual beds: decimeters thick; massive & graded; bounded by slightly erosional surfaces Thin sandstone interbeds	Stacking of broad gravel sheets and low-relief gravel bars by turbidity currents
Laterally-inclined strata (Element LIS)	Sheet-like or lenticular 7-15 m thick Several tens to 200 m in lateral extent	Low-angle inclined strata of clast-supported, pebble-cobble conglomerate Dip of inclined strata, perpendicular or oblique at high angles to paleocurrent direction Well-rounded, commonly imbricated clasts Medium-grained sandstone matrix Individual beds: decimeters thick; bounded by conformable and slightly erosional surfaces with local scour hollows Thin sandstone interbeds, commonly thinning-out updip	Lateral accretion on gravel bars through multiple depositional events (turbidity currents)
Foreset strata (Element FS)	Lenticular 2-4 m thick Several meters in lateral extent	Large-scale, planar & tangential cross-stratified, clast-supported, pebble-cobble conglomerate Commonly isolated sets Organized clast fabric	Downstream migration of large gravel dunes
Hollow fills (Element HF)	Lenticular 2-12 m thick A few meters to 100 m in lateral extent	Lenticular lithosome bounded by concave-up, erosional surfaces Occasionally stepped margin Clast-supported, pebble-boulder conglomerate with occasionally sandstone interbeds Concave-up stratified, massive or crudely stratified	Filling of thalwegs, minor channel forms, and scours
Diamictite (Element D)	Sheet-like A few meters to 30 m thick Hundreds of meters in lateral extent	Sheet-like lithosome of mud-rich conglomerate resting on concave-up, erosional surfaces and flat, conformable surfaces A single bed or more than one bed Two distinct divisions within individual beds: (1) lower division of clast-supported, imbricated, pebble-cobble conglomerate with common basal inverse grading and (2) upper division of matrix-supported, disorganized, pebble conglomerate or pebbly sandstone with intraformational clasts Highly variable paleocurrent directions, commonly perpendicular to those from stratified conglomerates	Sheet-like or tongue-shaped bodies deposited by debris flows with clast-rich frontal parts, originated from the failure of channel banks or slopes flanking the channel system

Fig. 11. Classification of architectural elements in the Lago Sofia Conglomerate.

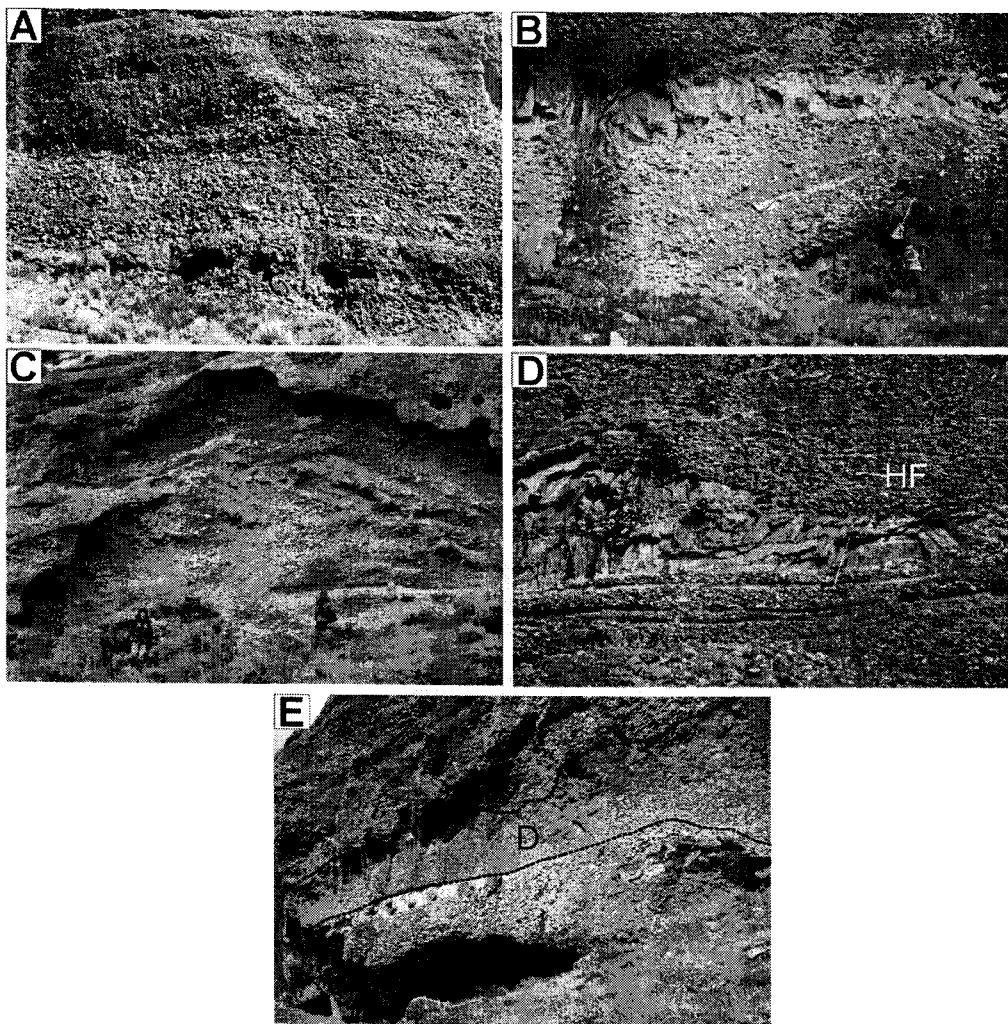
의 역암층들로 구성된다(Fig. 12B). 즉, 퇴적체 전체의 하부경계 또는 상부경계에 대해 퇴적체 내부의 층리면이 저각도로 기울어져 있다. 역암층의 경사방향은 역의 기와구조로부터 측정된 고수류 방향에 대해 직각이거나 고각도를 이룬다. 이 퇴적체는 판상 혹은 렌즈상이며, 두께는 7~15 m이고 횡적연장은 수 m에서 200 m이다. 개별 역암층은 수십 cm 정도의 두께를 가지며, 비침식성 또는 소규모의 침식곡(scour surface)에 의해 경계지워진다. 얇은 사암층이 흔히 협재하는데, 층경사의 상부방향으로 앎아져 소멸하는 경우가 많다. 이 퇴적체의 층리구조는 고수류 방향에 대해 측방으로 퇴적이 일어났음을 지시한다. 측방퇴적 구조는 육상 하천의 모래톱 및 자갈톱에서 흔히 관찰되는 것으로, 사행하천에서 발달하는 우각 사주(point bar)의 전형적인 구조이기도 하다(Allen 1983; Bridge 1993; Miall 1994). 이러한 측방퇴적 구조는 톱의 측면을 따라 흐르는 수류에 나선형의 흐름이 발달하면서 형성된다. 저탁류에 의해 형성되는 측방퇴적체(lateral-accretion deposit)는 잘 알려지지 않았지만, 육상 하천의 톱에서 일어나는 형성되는 경우와 유사하리라 생각된다.

전면층 퇴적체는 큰 규모의 사층리를 보이는 역지지 역암으로 구성된다(Fig. 12C). 이 퇴적체는 흔히 고립된 단일 층묶음(set)으로 산출하고, 층묶음의 두께는 약 3 m에

이른다. 퇴적체 내의 개별 역암층은 수십 cm의 두께를 가진다. 이 퇴적체의 층리구조 역시 육상 하천 환경에서 잘 알려진 자갈 언덕(dune)의 층리구조와 거의 동일하므로(Collinson and Thompson 1982), 저탁류의 바닥에 발달한 자갈 언덕이 하류방향으로 이동하면서 퇴적된 것으로 해석된다. 이 자갈톱의 높이는 3 m에 달하고 종방향 길이는 수십 m 정도인 것으로 추정된다.

곡충진 퇴적체는 위로 오목한 침식성 하부경계를 가지는 렌즈상의 퇴적체이다(Fig. 12D). 두께는 2~12 m이고 횡적 연장성은 수 m에서 100 m이다. 이 퇴적체는 퇴적상 A와 B로 구성되고, 내부의 역암층은 괴상이거나 희미한 층리 또는 위로 오목한 층리를 보인다. 얇은 사암층이 협재하기도 한다. 퇴적체의 측방 경계면은 계단상을 보이기도 한다. 퇴적체의 모양과 층리구조를 바탕으로 이 퇴적체는 심해저 하도의 최심곡(thalweg), 소규모 하도, 국지적 침식곡(scoured hollow) 등을 채운 것으로 해석된다.

기질지지 역암층은 퇴적상 C, 즉 니토를 많이 함유한 기질에 의해 역들이 지지되는 조직의 역암만으로 구성되어 다른 구성요소와 뚜렷이 구분된다(Fig. 12E). 이 역암층은 판상이며, 수 m에서 30 m의 두께를 가지고 횡적으로 수백 m 이상 연장된다. 하부경계는 아래로 오목한 침식성 부분(침식곡)과 평탄한 비침식성 부분을 포함한다.

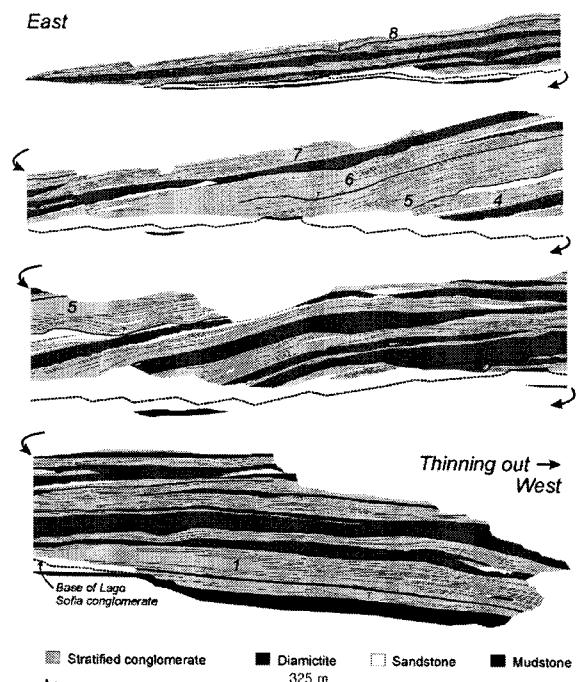


**Fig. 12.** (A) Stacked sheets of clast-supported conglomerate (Element S). Note the parallel to subparallel strata. Lago Goic section, (B) Laterally-inclined strata (Element LIS) in the Lago Sofia section (lower part of the photograph). The conglomerate strata are inclined with respect to the upper boundary. The dip direction of the strata is highly oblique to the paleocurrent direction measured from clast imbrication, (C) A set of foreset strata (Element FS) in the Lago Sofia area. The height of the cross strata is ca. 3 m, (D) A hollow-fill unit (Element HF) in the Lago Sofia section. Note the concave-up, erosional surface cutting into the underlying sandstone beds. A stick for scale is 95 cm long, (E) A diamictite bed (Element D) in the Lago Sofia section, showing sheet-like geometry and slightly erosional base. The bed is about 1.2 m thick.

단일 역암층으로 산출하거나 몇 개의 층이 누적되어 있는 형태로 나타난다. 역의 비늘배열로부터 측정된 고수류 방향은 다양하게 나타나며, 층리를 보이는 역암에서 측정된 고수류 방향에 대해 흔히 직각 또는 고각도를 보인다 (Figs. 10A, C). 이 역암체의 쇄설류 퇴적층은 판상 혹은 혀모양(tongue shape)으로 추정되며, 너비가 수백 m 이상 일 것으로 생각된다. 또한 다양한 고수류 방향은 하도의 둑 또는 하도계 주변 경사면이 무너지면서 쇄설류가 발달하였음을 지시한다.

#### 아키텍처(architecture)

라고 소피아의 남쪽 산사면에는 길이 약 1.3 km, 높이 300 m 이상의 절벽에 역암체가 드러나 있어 심해저 하도 역암체의 아키텍처(architecture)를 잘 보여준다(Fig. 13). 남-북 방향의 배사구조 축이 노두의 서부를 가로지르며, 이 부분의 역암층은 전체적으로 평탄한 층리를 보인다. 배사구조 축을 중심으로 서쪽의 층은 서쪽으로 기울어져 있으며, 동쪽의 층은 동쪽으로 기울어져 있다. 노두의 서부에서 역암체의 기저면이 관찰된다(Fig. 13). 이 기저면은



**Fig. 13.** Sketch of a large outcrop in the Lago Sofia area, highlighting the architecture of deep-sea channel conglomerate. The outcrop consists of stratified conglomerate, diamictite, and sandstone beds formed in an axial trunk channel. The stratified conglomerate is interpreted as the deposits of turbidity currents. Clast imbrication in these conglomerates is indicative of a sediment dispersal to the southwest, reflecting a southwestward-draining trunk channel. Diamictite beds were formed by muddy debris flows. Paleocurrents measured from the diamictite beds are highly oblique to those from stratified conglomerate, suggesting that the debris flows were originated from intermittent failure of channel bank or slope flanking the channel system. Note the progressive eastward shift of channel complexes (numbered) bounded by major down-cutting surfaces (thick stippled lines), which implies a long-term migration of the axial channel to the east. T = thalweg.

침식성으로, 부분적으로 계단상을 보이고 일련의 종축 도량이 보존되어 있다. 역암체 기저면의 하부는 저탁류 기원의 얇은 사암과 암회색 이암의 호층으로 구성된다. 노두의 중앙부와 동부에서는 기저면이 부분적으로 드러나 있으며, 곡 형태의 침식면을 보인다. 배사구조만을 고려한다면, 동쪽으로 기운 역암층들이 땅속으로 계속 연장될 것으로 보인다. 그러나 드러나 있는 역암체의 수 m 아래에 이암/사암 호층이 군데군데 드러나 있고, 역암체의 침식성

기저면도 부분적으로 관찰되므로, 역암체의 기저면이 그림에서 보는 것처럼 노두의 수 m 아래에 위치할 것으로 추정된다(Fig. 13). 이러한 추론은 라고 소피아 북쪽 산사면에서 관찰되는 역암체의 렌즈상 모양과도 잘 부합한다. 역암체는 하부 경계가 위로 오목한 형태이며, 역암체는 서쪽 방향으로 두께가 감소하는 것으로 판단된다. 이러한 역암체의 형태와 충구조를 고려하고 배사구조에 의한 변형을 복원한다면, 라고 소피아 노두의 역암층은 동쪽으로의 offset stacking을 보일 것이다.

역암체는 내부의 주요 침식면(major erosional surface)을 기준으로 8개의 하도복합체(channel complex)로 구분될 수 있다(Fig. 13). 각 하도복합체는 앞에서 기술한 여러 구성요소들로 구성되고, 주요 침식면 위에 놓인다. 침식면은 위로 오목한 부분을 포함하고 있는데, 이 부분에서 하부층의 침식이 가장 크므로, 이 부분이 심해져 하도의 최심곡(thalweg)으로 해석된다. 또한 최심곡의 위치가 상부로 가면서 동쪽으로 이동하는 경향을 보인다. 각 하도복합체는 다양한 퇴적상과 구성요소로 구성된다. 복합체 1, 5, 6과 8은 주로 저탁류 역암층(퇴적상 A, B)으로 구성된다. 반면 복합체 2, 3, 4와 7은 비슷한 비율의 저탁류 역암층과 니질 쇄설류층(퇴적상 C)로 구성된다. 전체적으로 저탁류 역암층이 우세한 편이다. 또한 니질 쇄설류층(퇴적상 C)은 역암체의 서부 및 하부에 많고, 층의 상부와 동쪽 방향으로 감소하는 경향을 보인다. 저탁류 역암층으로 구성된 구성요소 중에서 판상층리 퇴적체가 가장 우세하며, 판상층리 퇴적체, 횡경사층리 퇴적체, 곡충진 퇴적체 등은 서로 횡적으로 전이하는 특성을 보인다. 횡경사층리 퇴적체의 경우 동쪽으로 기운 경사층이 절대적으로 우세하다.

## 6. 라고 소피아 역암 해저 하도계의 진화

라고 소피아 역암이 퇴적된 백악기 후기 동안 마젤란분지에는 남-북 방향의 축을 갖는 포립골이 분지 서부에 치우쳐 형성되어 있었다(Fig. 1B). 라고 소피아 역암은 이 심해 골짜기를 따라 발달한 하도계를 나타낸다. 남-북 방향으로 120 km 이상 연장되나 동-서 방향의 폭이 수 km에 지나지 않는 것으로 보아, 라고 소피아 하도계의 발달은 심해 골짜기 지형에 의해 제한되었던 것으로 추정되며, 골짜기 지형은 궁극적으로 지구조적 요인의 규제를 받았을 것으로 생각된다. 이러한 구조적 지형에 의한 하도계 발달의 규제는 현생 심해 환경에서도 관찰된다. 동해의 도야마(Toyama) 심해 하도는 마이오세에 열개한 도야마 열곡을 따라 750 km 이상 연장되며, 하도의 위치와 모양은 기반암 구조에 의해 규제된다(Nakajima et al. 1998). 라고 소피아 하도계를 따라 자갈들이 100 km 이상 운반될 수 있었던 것은 하도계가 골짜기에 제한되어 있어 먼 거리동

안 저탁류의 세기가 유지될 수 있었기 때문으로 해석된다.

북부지역에 분포하는 역암체는 남부지역에 비해 상대적으로 규모가 작고, 이암층 내에 협재되어 여러 매표 산출 한다(Fig. 3). 층리 역암에서 측정된 고수류 방향은 동북동 내지 동향이 우세하고, 남남서향 또는 남향도 보인다. 이러한 특징들로부터 북부지역 역암체는 심해 하도계의 지류에서 형성된 것으로 해석된다. 전체적인 고수류 분포 (Fig. 2)를 보아 지류들은 남-북 방향의 주하도로 수렴하는 형태(converging system)이었을 것으로 추정되며, 심해저 골짜기로 연장되었을 것이다. 서쪽 내지 북서쪽의 안데스 산맥으로부터 공급된 퇴적물은 해저 사면에 발달한 지류를 통해 심해저 하도계의 주하도로 운반되었을 것이다. 또한 라고 소피아 심해저 하도 퇴적층이 거의 역암으로 구성되어 있는 점은 마젤란 분지의 서부에 발달한 대류봉이 매우 좁았거나 미미하여 조립질의 육상 퇴적물이 쉽게 해저 사면을 지나 심해로 운반되었음을 지시한다.

라고 소피아 역암은 심해 선상지(deep-sea fan) 모델로 설명되어 왔다(Winn and Dott 1979). 즉, 역암은 선상지 상부의 하도에서 퇴적되었고, 주변의 이암/사암 호층은 제방(levee) 및 제방 측면(levee flank) 퇴적층으로 해석되었다. 그러나 방사상의 선상지 모양은 확인되지 않았다. 또한 라고 소피아 하도계가 심해 골짜기에 제한되어 있었다면 선상지를 형성하기 어려웠을 것이다. 이암/사암 호층이 골짜기를 따라 흐르는 저탁류가 넘쳐 흐르며 퇴적되는 제방 퇴적층이라면 고수류 방향이 하도 퇴적층의 고수류 방향에 대해 직각 또는 고각도이어야 한다. 그러나 사암층의 바닥면 구조(sole mark)에서 측정된 고수류 방향은 하도 역암층에서 측정된 방향과 평행하다. 이러한 퇴적학적 정황 및 증거로 볼 때, 라고 소피아 역암에 대한 해저 선상지 모델은 재고되어야 한다.

라고 소피아 역암의 가장 뚜렷한 특징 중 하나는 육상 하천 퇴적층과 유사한 퇴적구조와 구성요소를 보인다는 점이다(Winn and Dott 1977; Winn and Dott 1979). 밀집 운반으로 퇴적된 층상역암(퇴적상 A)은 육상 역질하천의 주 퇴적상과 거의 동일하다(Boothroyd and Ashley 1975; Hein and Walker 1977). 아키텍처 측면에서도 판상층리 퇴적체, 횡경사층리 퇴적체, 전면층 퇴적체, 곡충진 퇴적체 등은 육상의 역질 망상하천 퇴적층에서 흔히 관찰된다(Boothroyd and Ashley 1975; Jo *et al.* 1997; Nemec and Postma 1993). 따라서 라고 소피아 심해저 하도계는 육상의 망상하천과 유사한 지형적 요소를 지녔을 것으로 생각된다. 이러한 해석은 최근 밝혀지고 있는 심해저 하도계와 육상 하천계의 지형적 유사성과도 잘 부합한다(Ercilla *et al.* 1998; Klaucke and Hesse 1996).

라고 소피아 노두에 대한 아키텍처 분석 결과, 심해저 하도 역암체는 여러 개의 하도 복합체로 구성되며, 누적

된 복합체들은 동쪽으로의 옵셋누적형태(offset stacking pattern)을 보인다. 또한 최심곡(thalweg)의 위치가 동쪽으로 이동하는 경향을 보인다. 이러한 아키텍처 특성은 라고 소피아 심해저 하도계가 점차 동쪽으로 이동하였음을 지시한다. 하도계의 편향된 이동은 동쪽으로 기울어진 횡경사층리가 우세한 점에 의해서도 뒷받침된다. 만약 하도계의 이동이 불규칙하게 일어난다면, 하도 방향에 대해 양측 방으로 기울어진 경사층리가 고르게 보존될 것이다. 그러나 하도의 이동이 한 방향으로 우세하게 일어난다면, 그 방향으로 기울어진 경사층리는 보존가능성이 높은 반면, 반대 방향의 경사층리는 침식되어 보존될 가능성이 낮기 때문에 경사층리의 경사방향이 편향되어 나타난다(Todd and Went 1991). 하도의 편향된 이동은 지구조적 요인에 기인하는 경우가 많다. 즉, 지구조적 기울어짐(tilting) 또는 차별 침강에 의해 하도의 횡방향으로 분지 침강속도가 다르다면, 한쪽 방향으로 지형구배가 지속적으로 유지되고 하도는 주로 그 방향으로 이동하게 된다(Todd and Went 1991). 라고 소피아 역암이 형성된 후기 백악기 동안 마젤란 분지의 서쪽에 지각이 융기하여 원시 안데스 산맥이 형성되었고, 라고 소피아 역암을 구성하는 자갈 퇴적물은 융기한 산맥으로부터 공급된 것으로 알려져 있다(Scott 1966; Winn and Dott 1979). 마젤란 분지 서편의 지각 융기로 인해 분지 서부가 동쪽으로 구조적 기울어짐을 겪었을 것으로 추정되며, 이 때문에 라고 소피아 심해저 하도계의 편향된 이동이 일어났을 것으로 사료된다.

저탁류에 의한 다양한 형태의 자갈톱 형성과 침식곡 충진은 라고 소피아 심해저 하도계를 채운 주 퇴적기구이었다. 판상층리 퇴적체, 횡경사층리 퇴적체, 전면층 퇴적체, 곡충진 퇴적체 등은 심해저 하도계의 다양한 지형요소를 나타낸다. 자갈들은 한 번의 저탁류에 의해 하류까지 운반되기도 한다. 오랜 기간동안 여러 번의 저탁류에 의해 하류로 운반되었을 것이다. 니질 역암층을 형성한 쇄설류 또한 심해저 하도를 채운 주 퇴적기구이었다. 하도 퇴적물은 거의 자갈들로 이루어져 있었을 것이므로, 암설류의 기질을 구성하는 니토는 세립질 퇴적물이 풍부한 하도의 제방 또는 하도계 주변의 사면으로부터 공급되었을 것이다. 하도계의 제방 또는 주변의 사면이 붕괴하여 형성된 사태가 하도 바닥의 자갈을 흡수하여 쇄설류로 발전하였을 것이다. 니질 역암층에서 측정된 고수류 방향은 주하도 방향에 대해 다양한 편차를 보이는데, 이는 쇄설류가 국지적인 지형 기복의 영향을 받으며 훌렸음을 시사한다. 한편, 라고 소피아 노두에서 쇄설류 퇴적층은 역암체의 하부 및 서부에 더 많이 분포한다. 이는 심해저 하도계의 발달 초기에 제방 및 사면 붕괴가 빈번하였으며, 하도계의 동편보다는 서편에서 사태발생이 빈번하였기 때문으로 사료된다.

## 7. 결 론

라고 소피아 해저 하도 퇴적층은 120 km 이상 연장되는, 자갈로 채워진 거대한 해저 하도 퇴적층이다. 이 하도 역암체는 연구지역 북쪽과 남쪽에서 서로 다른 누적 패턴을 보여준다. 연구지역 북쪽의 역암체들은 고립되어 나타나며 수직적-수평적 규모 또한 작은 편이다. 반면 남쪽에서는 여러 역암체가 수직적-수평적으로 연결되어 나타나며 규모 또한 매우 크다. 이러한 특징들은 연구지역 북쪽의 하도는 분지 주변 가까이에 발달한 지류들로서 잦은 하도 유기 과정을 겪으며 퇴적되었던 반면, 남쪽의 하도는 분지의 중심부를 따라 발달한 주하도로서 점진적인 하도의 수평 이동에 의해 퇴적되었음을 지시한다.

연구지역 북쪽의 지류들은 하도 제방이나 주변의 사면 사태에 의해 발생한 질량류 퇴적층으로 주로 채워진 반면, 분지 중심부를 따라 형성된 주하도에서는 주로 저탁류에 의해 지속적인 견인 퇴적이 일어났다. 이러한 차이로 인해 지류와 주하도 사이에는 확연한 퇴적상과 형태 구성 요소의 차이가 만들어졌다.라고 소피아 해저 하도는 한 곳으로 수렴하는 배수계를 가진 하도계를 형성하였으며, 이러한 하도계는 방사상으로 확산하는 심해 선상지의 하도계와 대비된다. 이러한 수렴 배수계는 라고 소피아 해저 하도가 포립 분지의 형태에 의해 제어되며 발달한 결과이다.

## 사 사

이 연구는 ‘남극 지구조 진화 및 지질 환경 특성 연구(PP03103 & PP04103)’의 일환으로 수행되었다. 현장 조사와 실험실에서의 자료 분석에 도움을 준 한국해양연구원 부설 극지연구소 모든 분들께 고마움을 표한다. 또한 논문을 읽고 세세한 부분까지 지적해준 두 분의 심사자(한국해양연구원 부설 극지연구소 이재일 박사와 익명의 심사자)께도 감사를 드린다.

## 참고문헌

- Allen, J.R.L. 1983. Studies in fluvial sedimentation: bars, bar-complexes and sandstone sheets (low-sinuosity braided streams) in the Brownstone (L. Devonian), Welsh Borders. *Sediment. Geol.*, 33, 237-293.
- Belderson, R.H., N.H. Kenyon, A.H. Stride, and C.D. Pelton. 1984. A ‘braided’ distributary system on the Orinoco Deep-Sea Fan. *Mar. Geol.*, 56, 195-206.
- Biddle, K.T., M.A. Uliana, R.M.J. Mitchum, M.G. Fitzgerald, and R.C. Wright. 1986. The stratigraphic and structural evolution of the central and eastern Magallanes Basin, southern South America. p. 41-61. In: *Foreland Basins*. ed. by P. Homewood. Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ., 8. Blackwell Science, Oxford.
- Boothroyd, J.C. and G.M. Ashley. 1975. Processes, bar morphology, and sedimentary structures on braided outwash fans, northeastern Gulf of Alaska. p. 193-222. In: *Glaciofluvial and Glaciolacustrine Sedimentation*. eds. by A.V. Jopling and B.C. McDonald. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 23, Tulsa.
- Bridge, J.S. 1993. The interaction between channel geometry, water flow, sediment transport and deposition in braided rivers. p. 13-71. In: *Braided Rivers*. eds. by J.L. Best and C.S. Bristow. Geological Society Special Publication 75. London.
- Clark, J.D., N.H. Kenyon, and K.T. Pickering. 1992. Quantitative analysis of the geometry of submarine channels: implications for the classification of submarine fans. *Geology*, 20, 633-636.
- Clark, J.D. and K.T. Pickering. 1996a. Architectural elements and growth patterns of submarine channels: application to hydrocarbon exploration. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 80, 194-221.
- Clark, J.D. and K.T. Pickering. 1996b. *Submarine Channels: Processes and Architecture*. Vallis Press, London. 231 p.
- Collinson, J.D. and D.B. Thompson. 1982. *Sedimentary Structures*. George Allen and Unwin, London. 194 p.
- Dalziel, I.W.D. and R.L. Brown. 1989. Tectonic denudation of the Darwin metamorphic core complexes in the Andes of Tierra del Fuego, southernmost Chile: Implications for Cordilleran orogenesis. *Geology*, 17, 699-703.
- Damuth, J.E., R.D. Flood, C. Pirmez, and P.L. Manley. 1995. Architectural elements and depositional processes of Amazon Deep Sea Fan imaged by long-range side-scan sonar (GLORIA), bathymetric swath-mapping (Sea Beam), high-resolution seismic and piston-core data. p. 105-122. In: *Atlas of Deep Water Environments: Architectural Styles in Turbidite Systems*. eds. by K.T. Pickering, R.N. Hiscock, N.H. Kenyon, F. Ricci Lucchi, and R.D.A. Smith. Chapman and Hall, London.
- Ercilla, G., B. Alonso, J. Baraza, D. Casas, F.L. Chiocci, F. Estrada, M. Farrán, E. Gonthier, F. Pérez-Belzuz, C. Pirmez, M. Reeder, J. Torres, and R. Urgeles. 1998. New high-resolution acoustic data from the ‘braided system’ of the Orinoco deep-sea fan. *Mar. Geol.*, 146, 243-250.
- Flood, R.D. and J.E. Damuth. 1987. Quantitative characteristics of sinuous distributary channels on the Amazon

- Deep-Sea Fan. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 98, 728-738.
- Hagen, R.A., D.D. Bergersen, R. Moberly, and W.T. Colbourn. 1994. Morphology of a large meandering submarine canyon system on the Peru-Chile forearc. *Mar. Geol.*, 119, 7-38.
- Hein, F.J. and R.G. Walker. 1977. Bar evolution and development of stratification in the gravelly, braided, Kicking Horse River, British Columbia. *Can. J. Earth Sci.*, 14, 562-570.
- Hein, F.J. and R.G. Walker. 1982. The Cambro-Ordovician Cap Enrage Formation, Quebec, Canada: Conglomeratic deposits of a submarine channel with terraces. *Sedimentology*, 29, 309-329.
- Hesse, R. 1989. "Drainage system" associated with midocean channels and submarine yazoos: Alternative to submarine fan depositional systems. *Geology*, 17, 1148-1151.
- Hughes Clarke, J.E., A.N. Shor, D.J.W. Piper, and L.A. Mayer. 1990. Large-scale current-induced erosion and deposition in the path of the 1929 Grand Banks turbidity current. *Sedimentology*, 37, 613-629.
- Jo, H.R., M.Y. Choe, and Y.K. Sohn. 2001. Drainage pattern and fluvial architecture of a gigantic gravelly submarine channel: the Cretaceous Lago Sofia conglomerate, southern Chile. p. 144. In: *7th Int. Conf. Fluvial Sedimentology, Program with Abstracts*. eds. by J.A. Mason, J.R.F. Diffendal, and R.M. Joeckel. Conservation and Survey Division, University of Nebraska, Open-File Report 60.
- Jo, H.R., C.W. Rhee, and S.K. Chough. 1997. Distinctive characteristics of a streamflow-dominated alluvial fan deposit: Sanghori area, Kyongsang Basin (Early Cretaceous), southeastern Korea. *Sediment. Geol.*, 110, 51-79.
- Johnson, A.M. 1984. Debris flow. p. 257-361. In: *Slope Instability*. eds. by D. Brunsden and D.B. Prior. John Wiley & Sons, Chichester.
- Klaucke, I. and R. Hesse. 1996. Fluvial features in the deep-sea: new insights from the glacigenic submarine drainage system of the Northwest Atlantic Mid-Ocean Channel in the Labrador Sea. *Sediment. Geol.*, 106, 223-234.
- Klaucke, I., R. Hesse, and W.B.F. Ryan. 1998. Morphology and structure of a distal submarine trunk channel: The Northwest Atlantic Mid-Ocean Channel between lat 53°N and 44°30'N. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 110, 22-34.
- Lewis, K.B. 1994. The 1500-km-long Hikurangi Channel: trench-axis channel that escapes its trench, crosses a plateau, and feeds a fan drift. *Geo-Mar. Lett.*, 14, 19-28.
- Lewis, K.B. and P.M. Barnes. 1999. Kaikoura Canyon, New Zealand: active conduit from near-shore sediment zones to trench-axis channel. *Mar. Geol.*, 162, 39-69.
- Lowe, D.R. 1982. Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *J. Sediment. Petrol.*, 52, 279-297.
- Maizels, J.K. 1987. Large-scale flood deposits associated with the formation of coarse-grained, braided terrace sequences. p. 135-148. In: *Recent Developments in Fluvial Sedimentology*. eds. by F.G. Ethridge, R.M. Flores, and M.D. Harvey. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 39, Tulsa.
- Major, J.J. 1997. Depositional processes in large-scale debris-flow experiments. *J. Geol.*, 105, 345-366.
- Miall, A. 1994. Reconstructing fluvial macroform architecture from two-dimensional outcrops: examples from the Castlegate Sandstone, Book Cliff, Utah. *J. Sediment. Petrol.*, 64B, 146-158.
- Miall, A.D. 1989. Architectural elements and bounding surfaces in channelized clastic deposits: Notes on comparisons between fluvial and turbidite systems. p. 3-16. In: *Sedimentary Facies in the Active Plate Margin*. eds. by A. Taira and F. Masuda. Terra Scientific Publishing Co., Tokyo.
- Mutti, E. and W.R. Normark. 1987. Comparing examples of modern and ancient turbidite systems: problems and concepts. p. 1-38. In: *Marine Clastic Sedimentology: Concepts and Case Studies*. eds. by J.K. Leggett and G.G. Zuffa. Graham & Trotman, London.
- Nakajima, T., M. Satoh, and Y. Okamura. 1998. Channel-levee complexes, terminal deep-sea fan and sediment wave fields associated with the Toyama Deep-Sea Channel system in the Japan Sea. *Mar. Geol.*, 147, 25-41.
- Nemec, W. 1990. Aspects of sediment movement on steep delta slopes. p. 29-73. In: *Coarse-Grained Deltas*. eds. by A. Colella and D.B. Prior. International Association of Sedimentologists, Special Publication 10.
- Nemec, W. and G. Postma. 1993. Quaternary alluvial fans in southwestern Crete: sedimentation processes and geomorphic evolution. p. 235-276. In: *Alluvial Sedimentation*. eds. by M. Marzo and C. Puigdefabregas. IAS Special Publication 17.
- Peakall, J., B. McCaffrey, and B. Kneller. 2000. A process model for the evolution, morphology, and architecture of sinuous submarine channels. *J. Sediment. Res.*, 70, 434-448.
- Scott, K.M. 1966. Sedimentology and dispersal pattern of a Cretaceous flysch sequence, Patagonian Andes, southern Chile. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 50, 72-107.
- Shultz, A.W. 1984. Subaerial debris flow deposition in the Upper Paleozoic Cutler Formation, western Colorado. *J.*

- Sediment. Petrol.*, 54, 759-772.
- Sohn, Y.K., M.Y. Choe, and H.R. Jo. 2002. Transition from debris flow to hyperconcentrated flow in a submarine channel (the Cretaceous Cerro Toro Formation, southern Chile). *Terra Nova*, 14, 405-415.
- Sohn, Y.K., C.W. Rhee, and B.C. Kim. 1999. Debris flow and hyperconcentrated flood-flow deposits in an alluvial fan, NW part of the Cretaceous Yongdong Basin, central Korea. *J. Geol.*, 107(1), 111-132.
- Todd, S.P. 1989. Stream-driven, high-density gravelly traction carpets: possible deposits in the Trabeg Conglomerate Formation, SW Ireland and some theoretical considerations of their origin. *Sedimentology*, 36, 513-530.
- Todd, S. and D. Went. 1991. Lateral migration of sand-bed rivers: examples from the Devonian Glashabeg Formation, SW Ireland and the Cambrian Alderney Sandstone Formation, Channel Islands. *Sedimentology*, 38, 997-1020.
- Vallance, J.W. and K.M. Scott. 1997. The Osceola Mudflow from Mount Rainier: Sedimentology and hazard implications of a huge clay-rich debris flow. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 109, 143-163.
- Wilson, T.J. 1991. Transition from back-arc to foreland basin development in the southernmost Andes. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 103, 98-111.
- Winn, R.D. Jr. and R.H. Dott, Jr. 1977. Large-scale traction-produced structures in deep-water fan-channel conglomerates in southern Chile. *Geology*, 5, 41-44.
- Winn, R.D. Jr. and R.H. Dott, Jr. 1979. Deep-water fan-channel conglomerates of Late Cretaceous age, southern Chile. *Sedimentology*, 26, 203-228.
- Wonham, J.P., S. Jayr, R. Mougambo, and P. Chuilon. 2000. 3D sedimentary evolution of a canyon fill (Lower Miocene-age) from the Mandorove Formation, offshore Gabon. *Mar. Petrol. Geol.*, 17, 175-197.
- Wynn, R.B., D.G. Masson, D.A.V. Stow, and P.P.E. Weaver. 2000. Turbidity current sediment waves on the submarine slopes of the western Canary Islands. *Mar. Geol.*, 163, 185-198.
- Wynn, R.B., D.J.W. Piper, and M.J.R. Gee. 2002. Generation and migration of coarse-grained sediment waves in turbidity current channels and channel-lobe transition zones. *Mar. Geol.*, 192, 59-78.

---

Received Jun. 4, 2004

Accepted Aug. 4, 2004